

Docket No. 268252US6CNF

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Sylvain SCHWARTZ, et al.

GAU: 3662

SERIAL NO: 10/526,611

EXAMINER: Unassigned

FILED: March 16, 2005

FOR: FOUR-MODE STABILIZED SOLID-STATE GYROLASER WITHOUT BLIND
REGION

SUBMISSION NOTICE REGARDING PRIORITY DOCUMENT(S)

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

Certified copies of the Convention Application(s) corresponding to the above-captioned matter:

☒ are submitted herewith

☐ were filed in prior application filed

☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number _____
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule
17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

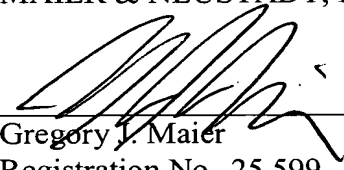
Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

RECEIVED

OCT 21 2005

LICENSING & REVIEW



Gregory J. Maier
Registration No. 25,599

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 11/04)



CERTIFIED COPY
PRIORITY DOCUMENT

BREVET D'INVENTION

CONFIDENTIAL DEFENSE
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 24 JAN. 2005

CONFIDENTIAL DEFENSE
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Cette copie officielle ne peut être utilisée
que comme document de priorité à l'appui
de la demande de brevet correspondante aux
ETATS-UNIS sous réserve qu'elle y soit mise
au secret dans les conditions fixées
par l'article 2 de l'arrêté du 9 août 2004
prononçant la prorogation des interdictions
de divulgation et de libre exploitation de
cette invention

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

REMISE DES PIÈCES

DATE

16 MARS 2004

LIEU

75 INPI PARIS 34 SP

N° D'ENREGISTREMENT

0402706

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

16 MARS 2004

PAR L'INPI

Vos références pour ce dossier

(facultatif)

63341

**1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE**

Monsieur Jean-Marc BRED
THALES INTELLECTUAL PROPERTY
31-33 avenue Aristide Briand
94117 ARCUEIL Cedex

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

2 NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

Demande de brevet initiale

N°

Date

ou demande de certificat d'utilité initiale

N°

Date

Transformation d'une demande de
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date

3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

GYROLASER A ETAT SOLIDE STABILISE A QUATRE MODES SANS ZONE AVEUGLE

4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ

OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE

LA DATE DE DÉPÔT D'UNE

DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)

☐ Personne morale

☐ Personne physique

Nom
ou dénomination sociale

THALES

Prénoms

Forme juridique

Société Anonyme

N° SIREN

15 520 590 24

Code APE-NAF

1 1 1 1

Domicile
ou
siège

Rue

45 rue de Villiers

Code postal et ville

92 200 NEUILLY-SUR-SEINE

Pays

FRANCE

Nationalité

Française

N° de téléphone (facultatif)

ORIGINATING AGENCY

CONFIDENTIEL DEFENSE
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

BR2

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

16 MARS 2004

LIEU

75 INPI PARIS 34 SP

N° D'ENREGISTREMENT

0402706

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DECLA

DB 540 W / 191203

6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)

Nom

BREDA

Prénom

Jean-Marc

Cabinet ou Société

THALES

Nationalité

Française

N° de pouvoir permanent et/ou
de lien contractuel

8325

Adresse

Rue

31-33 avenue Aristide Briand

Code postal et ville

94117 ARCUEIL Cedex

Pays

FRANCE

N° de téléphone (facultatif)

01 41 48 45 77

N° de télécopie (facultatif)

01 41 48 45 01

Adresse électronique (facultatif)

jean-marc.breda@thalesgroup.com

7 INVENTEUR (S)

Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques

Les demandeurs et les inventeurs
sont les mêmes personnes

☐ Oui

☒ Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)

8 RAPPORT DE RECHERCHE

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)

Établissement immédiat
ou établissement différé

☒

☐

Choix à faire obligatoirement au dépôt (cf. Notice explicative Rubrique 8)

**9 RÉDUCTION DU TAUX
DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)
☐ Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la
décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG

**10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES
ET/OU D'ACIDES AMINÉS**

☐ Cochez la case si la description contient une liste de séquences

Le support électronique de données est joint

☐

La déclaration de conformité de la liste de
séquences sur support papier avec le
support électronique de données est jointe

☐

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite»,
indiquez le nombre de pages jointes

**11 SIGNATURE DU DEMANDEUR
OU DU MANDATAIRE**
(Nom et qualité du signataire)

CONFIDENTIEL DEFENSE
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

**VISA DE LA PRÉFECTURE
OU DE L'INPI**

Vos références pour ce dossier (facultatif)		63 341
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0402406
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maxdum)		
GYROLASER A ETAT SOLIDE STABILISE A QUATRE MODES SANS ZONE AVEUGLE		
LE(S) DEMANDEUR(S) :		
THALES		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1	Nom	SCHWARTZ
	Prénoms	Sylvain
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 31-33 avenue Aristide Briand
	Code postal et ville	91411171 ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)		
2	Nom	FEUGNET
	Prénoms	Gilles
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 31-33 avenue Aristide Briand
	Code postal et ville	91411171 ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)		
3	Nom	POCHOLLE
	Prénoms	Jean-Paul
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 31-33 avenue Aristide Briand
	Code postal et ville	91411171 ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)		

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

le 15 Mars 2004

CONFIDENTIEL DEFENSE
DECLASSIFIED
ORIGINATING AGENCY

Jean-Marc BREDAS

GYROLASER A ETAT SOLIDE STABILISE A QUATRE MODES SANS ZONE AVEUGLE

5

Le domaine de l'invention est celui des gyrolasers à état solide utilisés pour la mesure des vitesses de rotation ou des positions angulaires. Ce type d'équipement est notamment utilisé pour les applications aéronautiques.

10

Le gyrolaser, mis au point il y a une trentaine d'années, est largement commercialisé et utilisé de nos jours. Son principe de fonctionnement est fondé sur l'effet Sagnac, qui induit une différence de fréquence Ω entre les deux modes optiques d'émission se propageant en sens opposé, dits contre-propageants, d'une cavité laser en anneau bidirectionnelle animée d'un mouvement de rotation. Classiquement, la différence de fréquence Ω est égale à :

$$\Omega = 4A\omega/\lambda L$$

où L et A sont respectivement la longueur et l'aire de la cavité ; λ est la longueur d'onde moyenne d'émission laser hors effet Sagnac ; ω est la vitesse de rotation angulaire du gyrolaser.

La mesure de Ω obtenue par analyse spectrale du battement des deux faisceaux émis permet de connaître la valeur de ω avec une très grande précision. Le comptage électronique des franges du battement qui défilent pendant un changement de position angulaire permet de connaître la valeur relative de la position angulaire également avec une très grande précision.

La réalisation des gyrolasers présente certaines difficultés techniques. Une première difficulté est liée à la qualité du battement entre les deux faisceaux qui conditionne le bon fonctionnement du laser. En effet, une bonne stabilité et une relative égalité des intensités émises dans les deux directions est nécessaire pour obtenir un battement correct. Or, dans le cas des lasers à état solide, cette stabilité et cette égalité ne sont pas assurées en raison du phénomène de compétition entre modes, qui fait que l'un des deux modes contre-propageants tend à monopoliser le gain disponible, au

CONFIDENTIAL DEFENSE

DECLASSIFIED BY 60301
DECLASSIFYING AGENCY

détriment de l'autre mode. Le problème de l'instabilité de l'émission bidirectionnelle pour un laser en anneau à état solide peut être résolu par la mise en place d'une boucle de contre-réaction destinée à asservir autour d'une valeur fixée la différence entre les intensités des deux modes contre-
5 propageants. Cette boucle agit sur le laser soit en rendant ses pertes dépendantes du sens de propagation, par exemple au moyen d'un élément à rotation réciproque, d'un élément à rotation non réciproque et d'un élément polarisant (demande de brevet n° 03 03645), soit en rendant son gain dépendant du sens de propagation, par exemple au moyen d'un élément à
10 rotation réciproque, d'un élément à rotation non réciproque et d'un cristal à émission polarisée (demande de brevet 03 14598). Une fois asservi, le laser émet deux faisceaux contrepropageants dont les intensités sont stables et peut être utilisé en tant que gyrolaser.

Une seconde difficulté technique est liée au domaine des faibles
15 vitesses de rotation, le gyrolaser ne fonctionnant correctement qu'au-delà d'une certaine vitesse de rotation. Aux basses vitesses de rotation, le signal de battement Sagnac disparaît en raison d'un couplage encore appelé verrouillage entre les deux modes contre-propageants dû à la rétrodiffusion de la lumière des divers éléments optiques présents dans la cavité. Le
20 domaine des vitesses de rotation pour lequel se produit ce phénomène est communément appelé zone aveugle et il correspond à une fréquence minimale de battement de quelques dizaines de kiloHertz. Ce problème n'est pas intrinsèque à l'état solide. Il se rencontre également dans le domaine des gyrolasers à gaz. La solution la plus couramment adoptée pour ce dernier
25 type de gyrolaser consiste alors à activer mécaniquement le dispositif en lui imprimant un mouvement forcé et connu qui le place artificiellement le plus souvent possible en dehors de la zone aveugle.

L'objet de l'invention est de compléter les dispositifs optiques
30 nécessaires au contrôle de l'instabilité des lasers à l'état solide par des dispositifs optiques spécifiques permettant d'éliminer la zone aveugle sans ajouter de biais de mesure. On obtient ainsi un laser à état solide « tout optique » sans pièces mobiles, stable et sans zone aveugle.

DECLASSIFIED BY 60301
DECLASSIFYING AGENCY

3
CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

Plus précisément, l'invention a pour objet un gyrolaser comportant au moins :

- une cavité optique en anneau ;
 - un milieu amplificateur à l'état solide ;
 - 5 • un dispositif d'asservissement comprenant un premier ensemble optique constitué d'un premier rotateur optique à effet non réciproque et d'un élément optique, ledit élément étant soit un rotateur optique à effet réciproque, soit un élément biréfringent, au moins l'un des effets ou la biréfringence étant réglable ;
 - 10 • et un dispositif de mesure ;
- caractérisé en ce que ladite cavité comporte également :
- un second ensemble optique constitué d'un premier dispositif de filtrage spatial et d'un premier élément optique de séparation de polarisation ;
 - 15 • un troisième ensemble optique constitué d'un second dispositif de filtrage spatial et d'un second élément optique de séparation de polarisation, le second ensemble optique et le troisième ensemble optique étant disposés de part et d'autre du premier ensemble optique, le troisième ensemble optique étant disposé symétriquement au second ensemble
 - 20 optique ;
 - un quatrième ensemble optique constitué successivement d'une première lame quart d'onde, d'un second rotateur optique à effet non réciproque et d'une seconde lame quart d'onde dont les axes principaux sont perpendiculaires à ceux de la première lame quart d'onde ;
 - 25 de telle sorte qu'un premier mode de propagation polarisé linéairement et qu'un second mode de propagation polarisé linéairement perpendiculairement au premier mode puissent s'établir dans un premier sens dans la cavité et qu'un troisième mode de propagation polarisé linéairement parallèlement au premier mode et se propageant en sens
 - 30 inverse et qu'un quatrième mode de propagation polarisé linéairement parallèlement au second mode et se propageant en sens inverse puissent s'établir dans la cavité, les axes principaux de la première lame quart d'onde et de la seconde lame quart d'onde étant inclinés d'environ 45 degrés par rapport aux directions de polarisation linéaires des quatre modes de

CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

~~CONFIDENTIAL~~ DEFENSE

propagation, les fréquences optiques des quatre modes étant toutes différentes.

Avantageusement, le dispositif de mesure comporte :

- des moyens optiques permettant de faire interférer d'une part le
5 premier mode de propagation avec le troisième mode de propagation et
d'autre part le second mode de propagation avec le quatrième mode de
propagation ;
- des moyens opto-électroniques permettant de déterminer d'une
part une première différence de fréquence optique entre le premier mode de
10 propagation et le troisième mode de propagation et d'autre part une seconde
différence de fréquence entre le second mode de propagation et le quatrième
mode de propagation ;
- des moyens électroniques permettant de réaliser la différence
de fréquence entre ladite première différence de fréquence et ladite seconde
15 différence de fréquence. Généralement, la première différence de fréquence
et la seconde différence de fréquence sont supérieures à environ cent
kiloHertz. La différence de fréquence résultante peut éventuellement être
intégrée dans le temps au moyen d'un dispositif de comptage électronique
des franges afin d'obtenir la mesure de position angulaire.

20 Avantageusement, la cavité comporte une lame optique
biréfringente.

Dans un mode de réalisation préférentiel, le premier élément
optique et le second élément optique de séparation de polarisation sont des
lames biréfringentes à faces planes et parallèles, l'axe de biréfringence étant
25 incliné de 45 degrés environ par rapport au plan des faces.

Avantageusement, le dispositif d'asservissement comprend au
moins un cinquième ensemble optique constitué d'un troisième rotateur
optique à effet non réciproque et d'un second élément optique, ledit élément
optique étant soit un rotateur optique à effet réciproque soit un élément
30 biréfringent, au moins l'un desdits effets ou la biréfringence étant réglable ; le
premier mode de propagation et le troisième mode de propagation traversant
le premier rotateur optique à effet non réciproque et le premier élément
optique, le deuxième mode de propagation et le quatrième mode de
propagation traversant le troisième rotateur optique à effet non réciproque et

~~CONFIDENTIAL~~ DEFENSE

CONFIDENTIEL DEFENSE

le second élément optique. Les éléments biréfringents sont notamment des lames biréfringentes comme des lames demi-onde.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- la figure 1 représente un schéma général du gyrolaser selon l'invention ;
- la figure 2 représente le principe de fonctionnement d'un rotateur optique à effet réciproque ;
- la figure 3 représente le principe de fonctionnement d'un rotateur optique à effet non réciproque ;
- la figure 4a représente le principe de fonctionnement d'une lame biréfringente à séparation de polarisation ;
- la figure 4b représente le schéma équivalent de cette lame dans le formalisme de Jones généralisé ;
- la figures 5 représente le fonctionnement du premier, du second et du troisième ensemble optique dans le sens direct de propagation ;
- la figure 6 représente le fonctionnement du premier, du second et du troisième ensemble optique dans le sens direct de propagation dans une variante de réalisation ;
- la figure 7 représente le fonctionnement du quatrième ensemble optique pour les premier et second modes de propagation.

Les dispositifs spécifiques selon l'invention doivent remplir trois fonctions spécifiques :

- Réaliser l'asservissement en intensité des modes contre-propageants ;
- Supprimer la zone aveugle ;
- Ne pas introduire de biais de mesure.

Pour remplir ces différentes fonctions, le dispositif génère à l'intérieur de la cavité quatre modes optiques polarisés linéairement à des fréquences différentes. Le premier mode de propagation et le second mode se propagent dans la cavité dans un premier sens, le second mode étant polarisé linéairement perpendiculairement au premier mode en dehors du

quatrième ensemble optique, et circulairement à l'intérieur du quatrième ensemble optique. Le troisième mode et le quatrième mode se propagent dans le sens inverse, le troisième mode de propagation étant polarisé linéairement parallèlement au premier mode, le quatrième mode de propagation étant polarisé linéairement parallèlement au second mode en dehors du quatrième ensemble optique et circulairement à l'intérieur.

La génération et le contrôle de ces quatre modes sont réalisés au moyen du gyrolaser selon l'invention représenté en figure 1 où l'élément optique est, dans ce cas, un rotateur optique réciproque. Il comporte essentiellement :

- une cavité optique 1 en anneau comprenant au moins un miroir partiellement réfléchissant 11, permettant de traiter les modes contre-propageants hors de la cavité ;
- un milieu amplificateur 2 à l'état solide ;
- un dispositif d'asservissement 3 commandant le ou les rotateurs optiques 4 et 5 (flèches en pointillés sur la figure) ;
- un dispositif de mesure 6 ;
- un système optique comprenant :
 - un premier ensemble optique constitué d'un premier rotateur optique 5 à effet non réciproque et d'un rotateur optique 4 à effet réciproque ;
 - un second ensemble optique constitué d'un premier dispositif de filtrage spatial 7 et d'un premier élément optique de séparation de polarisation 8 ;
 - un troisième ensemble optique constitué d'un second dispositif de filtrage spatial 10 et d'un second élément optique de séparation de polarisation 9, le second ensemble optique et le troisième ensemble optique étant disposés de part et d'autre du premier ensemble optique, le troisième ensemble optique étant disposé symétriquement au second ensemble optique ;
- un quatrième ensemble optique constitué successivement d'une première lame quart d'onde 12, d'un second rotateur optique 14 à effet non réciproque et d'une seconde lame quart d'onde 13 dont les axes

CONFIDENTIEL
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY
DEFENSE

principaux sont tournés à 90° par rapport à ceux de la première lame quart d'onde.

Le système optique comprend un rotateur optique à effet
5 réciproque 4 et un rotateur optique à effet non réciproque 5. Une rotation
optique de la polarisation d'une onde est dite non réciproque lorsque les
effets de rotation de la polarisation se cumulent après un aller-retour de
ladite onde dans un composant optique présentant cet effet. Le composant
optique est appelé rotateur optique à effet non réciproque. Par exemple, les
10 matériaux à effet Faraday sont des matériaux qui, lorsqu'ils sont soumis à un
champ magnétique, font tourner le plan de polarisation des faisceaux qui les
traversent. Cet effet n'est pas réciproque. Ainsi, le même faisceau venant en
sens inverse subira une rotation de son plan de polarisation dans le même
sens. Ce principe est illustré en figure 3. La direction de polarisation du
15 faisceau polarisé linéairement 101 subit une rotation d'un angle β lorsqu'elle
traverse le composant 5 à effet Faraday dans le sens direct (schéma
supérieur de la figure 3). Si l'on réinjecte dans le composant à effet Faraday
un faisceau identique 103 se propageant dans le sens opposé et dont la
direction de polarisation est initialement tournée de β , sa direction de
20 polarisation tourne à nouveau de l'angle β en traversant le composant,
l'angle de rotation total faisant alors 2β après un aller-retour (schéma
inférieur de la figure 3).

Dans un rotateur classique 4 à effet réciproque, la direction de
polarisation tourne de $+\alpha$ dans le sens direct et tourne de $-\alpha$ dans le sens
25 inverse de propagation, de façon à retrouver la direction initiale de
polarisation comme illustré sur les schémas de la figure 2.

Le système optique comprend également deux éléments optiques
de séparation de polarisation. Il existe une pluralité de configurations
30 géométriques permettant d'assurer la séparation des faisceaux polarisés. A
titre d'exemple, la figure 4a représente une lame biréfringente 8 permettant la
séparation de faisceaux polarisés linéairement. La lame comprend deux
faces planes et parallèles et est taillée dans un cristal biréfringent dit uniaxe
caractérisé par un indice optique ordinaire et un indice optique extraordinaire.
35 La variation de l'indice optique ordinaire au sein de la lame a la forme d'une

CONFIDENTIEL
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY
DEFENSE

CONFIDENTIAL DEFENSE

sphère et la variation de l'indice optique extraordinaire a la forme d'un ellipsoïde comme représenté en pointillés sur la figure 4a. Selon une direction privilégiée appelée axe optique représentée par la flèche double inclinée sur la figure, les indices optiques ordinaire et extraordinaire sont égaux. La taille de la lame est effectuée selon un plan incliné à 45 degrés par rapport à cette direction. Lorsqu'un premier faisceau lumineux 101 polarisé linéairement tombe en incidence normale sur la face d'entrée de la lame biréfringente, on démontre qu'il traverse la lame sans changement de direction. Lorsqu'un second faisceau lumineux 102 polarisé linéairement et perpendiculairement au faisceau 101 tombe en incidence normale sur la face d'entrée de la lame biréfringente, on démontre qu'il est décalé spatialement par la traversée de la lame. Ainsi les deux faisceaux 101 et 102 sont, à la sortie de la lame biréfringente, parallèles entre eux et séparés d'une distance d comme indiqué en figure 4a, la distance d dépendant des caractéristiques optiques et de l'épaisseur de la lame.

Le fonctionnement du système optique est illustré sur la figure 5. Le passage d'un premier mode de propagation 101 et d'un second mode de propagation 102 polarisés linéairement à travers le premier ensemble optique y est représenté. Avant le premier dispositif de filtrage spatial 7, la polarisation linéaire du premier mode 101 est dans le plan de la feuille et la polarisation linéaire du second mode 102 est perpendiculaire au plan de la feuille. Ces directions de polarisation sont représentées par des flèches droites. Bien entendu, le premier filtrage spatial conserve ces directions de polarisation.

Le premier mode de propagation d'intensité I_1 traverse le premier élément optique de séparation de polarisation 8, ressort parallèlement à sa direction d'entrée en subissant un décalage d comme il a été vu. Il traverse ensuite le rotateur à effet réciproque 4 puis le premier rotateur à effet non réciproque 5. Par conséquent, sa direction de polarisation est tournée d'un angle α après la traversée du premier élément, et d'un angle égal à $\alpha + \beta$ après la traversée du second élément. On peut décomposer, à la sortie du premier rotateur, la polarisation linéaire du premier mode en deux composantes perpendiculaires entre elles, la première parallèle à la direction initiale et dont l'intensité est égale à la valeur de l'intensité initiale I_1 multipliée

CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

par le facteur $\cos^2(\alpha+\beta)$, la seconde perpendiculaire à la direction initiale et dont l'intensité est égale à la valeur de l'intensité initiale I_1 multipliée par le facteur $\sin^2(\alpha+\beta)$. La première composante traverse le second élément optique de séparation de polarisation 9 et subit un décalage de $-d$, ce
5 second élément optique étant disposé symétriquement au premier et par conséquent cette composante traverse le second filtrage 10 sans atténuations, le second filtrage étant disposé sur le même axe que le premier filtrage. La seconde composante traverse le second élément optique de séparation de polarisation sans subir de décalage (flèche en pointillés sur la
10 figure 5) et par conséquent ne peut pas passer à travers le second filtrage. En finale, le premier mode a donc été atténué d'un facteur $\cos^2(\alpha+\beta)$. On démontre de la même façon que le second mode de propagation 102 est également atténué du même facteur. Les troisième et quatrième mode de propagation circulant en sens inverse sont également atténués d'un facteur
15 commun. On démontre aisément que ce second facteur vaut $\cos^2(\alpha-\beta)$. Il est à noter que les faisceaux perdus dans l'élément à séparation de faisceaux peuvent éventuellement être envoyés sur des photo-détecteurs du système d'asservissement de façon à lui fournir l'information d'intensité des faisceaux.

Il est à noter également qu'un déphasage réciproque est souvent
20 induit par ce type de dispositif entre les deux états de polarisation. Ce déphasage est utile car il correspond à un biais pouvant éviter le verrouillage en fréquence mais sa valeur n'est pas nécessairement suffisamment importante. On induit si nécessaire un déphasage supplémentaire à l'aide d'un élément biréfringent inséré dans la cavité.

25 L'atténuation des modes est donc différente selon leur sens de propagation et dépend directement de l'importance des effets subis par la polarisation des deux modes. Il est ainsi possible de faire varier de façon différente les intensités des modes contre-propageants en faisant varier au moins l'une des deux valeurs α ou β des effets subis par les polarisations
30 des deux modes au moyen du dispositif d'asservissement. On réalise ainsi l'asservissement de l'intensité des différents modes à une valeur constante.

Dans cette configuration, les premier et second modes de propagation d'une part et les troisième et quatrième mode de propagation d'autre part sont atténués de la même façon. Il est possible d'obtenir des
35 atténuations différentes sur les modes se propageant dans le même sens en

CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

CONFIDENTIEL DEFENSE

utilisant deux boucles de rétroaction indépendantes agissant chacune sur une polarisation différente. Le principe est illustré en figure 6. On introduit entre le second ensemble optique et le troisième ensemble optique constitués chacun d'un filtrage spatial et d'un élément optique de séparation de polarisation, deux ensembles optiques constitués chacun d'un rotateur optique à effet non réciproque 5 ou 51 et d'un rotateur optique à effet réciproque 4 ou 41 ; ces deux ensembles étant commandés de façon indépendante par le dispositif d'asservissement non représenté sur la figure 6. Bien entendu, la distance de séparation d entre les deux faisceaux polarisés doit être suffisante pour permettre la mise en place des différents rotateurs. Le milieu amplificateur 2 peut dans cette configuration être placé sur le trajet de séparation des faisceaux comme indiqué sur la figure 6. Le pompage optique a alors lieu en deux points différents, le diaphragme 10 garantissant la superposition spatiale des faisceaux en dehors du dispositif de séparation. Cette variante de l'invention offre comme avantage supplémentaire le découplage complet entre les quatre modes au niveau du gain et supprime ainsi les effets de la compétition entre modes.

Le fonctionnement du quatrième ensemble optique est représenté en figure 7. Lorsqu'un mode optique polarisé linéairement 101 (flèche droite sur la figure 7) traverse la première lame quart d'onde 12, si l'axe principal de cette lame, représenté par une flèche double, est incliné de 45 degrés par rapport à la direction de polarisation, alors la polarisation du mode sort avec une polarisation circulaire droite (flèche semi-circulaire pleine sur la figure 7). Cette onde polarisée circulairement subit un déphasage non réciproque γ lorsqu'elle traverse le second rotateur optique non réciproque 13. Elle est ensuite de nouveau transformée en onde polarisée linéairement par la seconde lame quart d'onde 14 dont l'axe principal est perpendiculaire à l'axe principal de la première lame quart d'onde. On a ainsi introduit un déphasage non réciproque sur le mode traversant ce quatrième ensemble optique tout en conservant la polarisation linéaire de l'onde. Naturellement, si l'onde est polarisée linéairement et perpendiculairement à la direction de 101, elle est transformée en onde polarisée circulaire gauche et subit un déphasage non réciproque de $-\gamma$.

CONFIDENTIEL DEFENSE

CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

Il est donc possible au moyen des dispositifs précédents de générer à l'intérieur de la cavité quatre modes circulant deux par deux en sens opposé, de les atténuer de façon variable et contrôler pour les maintenir au même niveau d'intensité et d'introduire également des déphasages réciproques et non réciproques sur lesdits modes. Pour déterminer les modes propres et leurs fréquences, on utilise le formalisme des matrices de Jones. Dans le cas général, celui-ci consiste à représenter l'influence d'un composant sur un mode optique de propagation par une matrice 2x2 référencée dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation des modes optiques. Dans le cas présent, on utilise un formalisme de Jones généralisé, adapté au cas où deux chemins de propagation sont possibles dans la cavité comme il a été vu précédemment. Les chemins sont appelés chemin supérieur ou « top » et chemin inférieur ou « bottom ». Dans ce cas, les matrices représentatives sont des matrices 4x4. Dans un repère orthonormé (x, y) dont les axes sont dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation des faisceaux optiques, le champ électrique du mode optique est décrit par un vecteur à quatre composantes (T_x, T_y, B_x, B_y) , où (T_x, T_y) est le vecteur de Jones du champ électrique le long du chemin supérieur ("top") et (B_x, B_y) le vecteur de Jones du champ électrique le long du chemin inférieur ("bottom") comme indiqué sur la figure 4b où le parcours des chemins optiques est représenté à l'intérieur d'une lame biréfringente uniaxe taillée à 45° de son axe optique 8.

Pour connaître l'influence résultante de l'ensemble des composants intra-cavité, il suffit alors de déterminer les états propres du produit des différentes matrices représentatives de ces composants. Ce produit n'étant pas nécessairement commutatif, la matrice pourra être différente selon le sens de propagation des faisceaux.

Dans ce formalisme, le premier élément optique de séparation de polarisation constitué d'un cristal biréfringent taillé à 45 degrés de son axe optique est vu, lorsqu'il est parcouru dans le bon sens de propagation, comme un composant à deux entrées et deux sorties « top » et « bottom » :

- qui envoie B_x et T_x ; qui se propagent parallèlement à l'axe ordinaire sur eux-mêmes,

CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

- et qui fait "monter" B_y et T_y , qui se propagent parallèlement à l'axe extraordinaire, en les envoyant respectivement sur T_y et 0. La composante T_y est soit arrêtée par les faces latérales du cristal soit est désalignée avec les axes de propagation de la cavité et ne peut plus osciller.

5

Lorsqu'il est parcouru dans le sens inverse, le cristal fait naturellement « descendre » B_y et T_y , B_x et T_x restant inchangés.

- La biréfringence totale de la cavité introduit un déphasage de $\phi/2$ entre les deux états de polarisation. La matrice de Jones du premier ou du second élément optique de séparation de polarisation s'écrit donc dans le sens de propagation pour lequel il fait monter les faisceaux optiques :

$$C_{\uparrow}(\phi) = \begin{pmatrix} e^{-i\phi/4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{i\phi/4} \\ 0 & 0 & e^{-i\phi/4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

15

Lorsqu'il est traversé dans le sens de propagation opposé, le premier ou le second élément optique de séparation de polarisation fait descendre les faisceaux optiques. Sa matrice est alors :

$$C_{\downarrow}(\phi) = \begin{pmatrix} e^{-i\phi/4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-i\phi/4} & 0 \\ 0 & e^{i\phi/4} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

20

La matrice des dispositifs de filtrage spatial s'écrit :

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Un élément n'induisant pas d'effet transverse et ayant pour matrice de Jones 2x2 la matrice m aura dans le formalisme 4x4 la matrice :

CONFIDENTIEL
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY
DEFENSE

$$M = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m \end{pmatrix}$$

On peut alors écrire les matrices des autres éléments présents dans le dispositif de la façon suivante :

Pour un rotateur à effet réciproque parcouru dans un sens de rotation appelé sens direct, la matrice $R_+(\alpha)$ s'écrit :

$$R_+(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 & 0 \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}$$

Pour un rotateur à effet réciproque parcouru dans le sens opposé de rotation appelé sens inverse, la matrice $R_-(\alpha)$ s'écrit :

$$R_-(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}$$

Pour un rotateur à effet non réciproque, la matrice est indépendante du sens de propagation et s'écrit :

$$F(\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\beta) & -\sin(\beta) \\ 0 & 0 & \sin(\beta) & \cos(\beta) \end{pmatrix}$$

Pour une lame quart d'onde tournée à 45 degrés, la matrice s'écrit :

$$L_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -i & 0 & 0 \\ -i & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -i \\ 0 & 0 & -i & 1 \end{pmatrix}$$

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY
CONFIDENTIEL DEFENSE

CONFIDENTIEL DEFENSE

Pour une lame quart d'onde tournée à 135 degrés, la matrice s'écrit :

$$L_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & i & 0 & 0 \\ i & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & i \\ 0 & 0 & i & 1 \end{pmatrix}$$

Les matrices J_+ et J_- représentatives de l'ensemble des dispositifs optiques présents dans la cavité pour les modes se propageant dans le sens direct et dans le sens inverse s'obtiennent par simple multiplication :

$$J_+ = L_2 F(\gamma) L_1 D C_{\downarrow}(\phi) R_+(\alpha) F(\beta) C_{\uparrow}(\phi) D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\alpha + \beta) e^{-i(\phi/2 - \gamma)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(\alpha + \beta) e^{i(\phi/2 - \gamma)} \end{pmatrix}$$

et

$$J_- = L_1 F(\gamma) L_2 D C_{\downarrow}(\phi) F(\beta) R_-(\alpha) C_{\uparrow}(\phi) D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\alpha - \beta) e^{-i(\phi/2 + \gamma)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(\alpha - \beta) e^{i(\phi/2 + \gamma)} \end{pmatrix}$$

La connaissance des matrices J_+ et J_- permet de déterminer les états propres des modes optiques susceptibles de se propager dans la cavité. Il existe deux états propres différents selon les axes x et y dans chaque sens de propagation, soit un total de quatre états propres que l'on note :

- $(+,x)$: Etat propre de polarisation linéaire horizontale se propageant dans une première direction de propagation ;
- $(+,y)$: Etat propre de polarisation linéaire verticale se propageant dans la première direction de propagation ;
- $(-,x)$: Etat propre de polarisation linéaire horizontale se propageant dans la direction de propagation inverse;
- $(-,y)$: Etat propre de polarisation linéaire verticale se propageant dans la direction de propagation inverse .

Le module des états propres $(+,x)$ et $(+,y)$ est égal à $\cos(\alpha + \beta)$ alors que le module des états propres $(-,x)$ et $(-,y)$ est égal à $\cos(\alpha - \beta)$. Les

CONFIDENTIEL DEFENSE

CONFIDENTIAL
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY
DEFENSE

modules étant différents selon le sens de propagation, il est donc possible en faisant varier un des deux coefficients α ou β d'asservir les modes contre-propageants à une différence d'intensité constante.

- 5 En l'absence de rotation du gyrolaser, la fréquence ν d'un mode optique dans une cavité laser en anneau de longueur L est classiquement liée au déphasage ϕ subi par ce mode après chaque tour de cavité :

$$\nu = \frac{c}{L} \left(n - \frac{\phi}{2\pi} \right) \text{ avec } n \text{ entier}$$

- Pour une valeur de n donnée, les fréquences des différents modes
10 propres sont donc :

Pour le mode $(+,x)$, $\nu(+,x) = \frac{c}{L} \left(n + \frac{\phi/2 - \gamma}{2\pi} \right)$

Pour le mode $(+,y)$, $\nu(+,y) = \frac{c}{L} \left(n - \frac{\phi/2 - \gamma}{2\pi} \right)$

Pour le mode $(-,x)$, $\nu(-,x) = \frac{c}{L} \left(n + \frac{\phi/2 + \gamma}{2\pi} \right)$

Pour le mode $(-,y)$, $\nu(-,y) = \frac{c}{L} \left(n - \frac{\phi/2 + \gamma}{2\pi} \right)$

15

Lorsque la cavité est en rotation, les fréquences propres sont décalées par effet Sagnac d'une fréquence égale à $\pm\Omega/2$, le signe dépendant du sens de propagation du mode. Les fréquences des modes deviennent dans ce cas :

20 Pour le mode $(+,x)$, $\nu(+,x) = \frac{c}{L} \left(n + \frac{\phi/2 - \gamma}{2\pi} \right) + \frac{\Omega}{2}$

Pour le mode $(+,y)$, $\nu(+,y) = \frac{c}{L} \left(n - \frac{\phi/2 - \gamma}{2\pi} \right) + \frac{\Omega}{2}$

Pour le mode $(-,x)$, $\nu(-,x) = \frac{c}{L} \left(n + \frac{\phi/2 + \gamma}{2\pi} \right) - \frac{\Omega}{2}$

Pour le mode $(-,y)$, $\nu(-,y) = \frac{c}{L} \left(n - \frac{\phi/2 + \gamma}{2\pi} \right) - \frac{\Omega}{2}$

- 25 En toute rigueur, pour déterminer très précisément les fréquences des modes optiques, il faut tenir compte des variations de longueur de la

CONFIDENTIAL
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY
DEFENSE

CONFIDENTIEL DEFENSE

cavité due à la biréfringence et à l'effet Sagnac. On démontre que ces effets sont négligeables et n'altèrent en rien la précision de la mesure.

Pour éviter le couplage entre les modes et l'apparition de la zone aveugle, il est nécessaire d'assurer une séparation en fréquence convenable. Par conséquent, il faut que les termes $(c/2\pi L)\gamma$ et $(c/2\pi L)(\phi-2\gamma)$ soient tous les deux supérieurs à une certaine valeur minimale déterminée par la plage d'utilisation souhaitée pour le gyrolaser. Pour assurer cette condition, il suffit de dimensionner convenablement les paramètres optiques et géométriques des rotateurs réciproques et non réciproques.

Le battement des faisceaux $(+,x)$ et $(-,x)$ d'une part et $(+,y)$ et $(-,y)$ d'autre part donne alors deux fréquences de battement ν_1 et ν_2 qui vérifient :

$$\nu_1 = |v(-,x) - v(+,x)| = \frac{c}{L} \frac{\gamma}{\pi} - \Omega \quad \text{et} \quad \nu_2 = |v(-,y) - v(+,y)| = \frac{c}{L} \frac{\gamma}{\pi} + \Omega$$

La différence entre ces deux fréquences $\Delta\nu$ vaut :

$$\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1 = 2\Omega$$

On retrouve ainsi par la mesure de $\Delta\nu$ la fréquence de battement Ω qui permet de déterminer la vitesse de rotation angulaire. Cette valeur est indépendante des valeurs des biais de la cavité et de leurs éventuelles fluctuations.

Les différentes opérations permettant de déterminer la différence de fréquence $\Delta\nu$ sont effectuées par le dispositif de mesure qui comporte :

- des moyens optiques permettant de faire interférer d'une part le premier mode de propagation $(+,x)$ avec le troisième mode de propagation $(-,x)$ et d'autre part le second mode de propagation $(+,y)$ avec le quatrième mode de propagation $(-,y)$; une variante est possible en faisant interférer d'une part $(+,x)$ et $(-,y)$ et d'autre part $(+,y)$ et $(-,x)$;
- des moyens opto-électroniques permettant de déterminer d'une part la première différence de fréquence optique ν_1 entre le premier mode de propagation et le troisième mode de propagation et d'autre part la seconde différence de fréquence entre le second mode de propagation et le quatrième mode de propagation ν_2 ;
- des moyens électroniques permettant de réaliser la différence de fréquence $\Delta\nu$ entre la première différence de fréquence et la seconde différence de fréquence ν_2 .

CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED BY 17
CONFIDENTIAL DEFENSE
ORIGINATING AGENCY

Il peut être utile d'introduire un étalon optique de type Fabry-Perot dans la cavité. Naturellement, la finesse de celui-ci ne devra pas être trop importante pour ne pas coupler trop fortement en fréquence les différents modes. Il peut être avantageux d'incliner les faces de cet étalon par rapport à
5 la direction de propagation des faisceaux de façon à éviter toute propagation des réflexions vitreuses.

Il est, bien entendu possible d'assembler plusieurs gyrolasers selon l'invention pour réaliser un système de mesure de vitesses angulaires selon trois axes différents, comportant, par exemple, trois gyrolasers montés
10 sur une structure mécanique commune.

CONFIDENTIAL DEFENSE
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

REVENDEICATIONS

- 5 1. Gyrolaser permettant la mesure de la vitesse angulaire ou de la position angulaire relative selon un axe de rotation déterminé, comportant au moins :
- une cavité optique (1) en anneau ;
 - un milieu amplificateur (2) à l'état solide ;
 - 10 • un dispositif d'asservissement (3) comprenant au moins un premier ensemble optique constitué d'un premier rotateur optique (5) à effet non réciproque et d'un élément optique, ledit élément optique étant soit un rotateur optique à effet réciproque (4), soit un élément biréfringent, au moins l'un des effets ou la biréfringence étant réglable ;
 - 15 • et un dispositif de mesure (6) ;
- caractérisé en ce que ladite cavité (1) comporte également :
- un second ensemble optique constitué d'un premier dispositif de filtrage spatial (7) et d'un premier élément optique (8) de séparation de polarisation ;
 - 20 • un troisième ensemble optique constitué d'un second dispositif de filtrage spatial (10) et d'un second élément optique de séparation de polarisation (9), le second ensemble optique et le troisième ensemble optique étant disposés de part et d'autre du premier ensemble optique, le troisième ensemble optique étant disposé symétriquement au second
 - 25 ensemble optique ;
 - un quatrième ensemble optique constitué successivement d'une première lame quart d'onde(12), d'un second rotateur optique à effet non réciproque (13) et d'une seconde lame quart d'onde (14) dont les axes principaux sont perpendiculaires à ceux de la première lame quart d'onde ;
 - 30 de telle sorte qu'un premier mode de propagation polarisé linéairement et qu'un second mode de propagation polarisé linéairement perpendiculairement au premier mode puissent se propager dans un premier sens dans la cavité et qu'un troisième mode de propagation polarisé linéairement parallèlement au premier mode et qu'un quatrième mode de
 - 35 propagation polarisé linéairement parallèlement au second mode puissent se

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

propager en sens inverse dans la cavité, les axes principaux de la première lame quart d'onde et de la seconde lame quart d'onde étant inclinés d'environ 45 degrés par rapport aux directions de polarisation linéaires des quatre modes de propagation, les fréquences optiques des quatre modes
5 étant toutes différentes.

2. Gyrolaser selon la revendication 1, caractérisé en ce que la cavité comporte une lame biréfringente, permettant d'induire ou de renforcer la différence de fréquence entre les états de polarisations orthogonaux.
10

3. Gyrolaser selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif de mesure (6) comporte :

- des moyens optiques permettant de faire interférer d'une part le premier mode propagation avec le troisième mode de propagation et d'autre
15 part le second mode de propagation avec le quatrième mode de propagation ;

- des moyens opto-électroniques permettant de déterminer d'une part une première différence de fréquence optique entre le premier mode de propagation et le troisième mode de propagation et d'autre part une seconde
20 différence de fréquence entre le second mode de propagation et le quatrième mode de propagation ;

- des moyens électroniques permettant de réaliser la différence de fréquence entre ladite première différence de fréquence et ladite seconde différence de fréquence.
25

4. Gyrolaser selon la revendication 3, caractérisé en ce que la première différence de fréquence et la seconde différence de fréquence sont supérieures à environ cent kiloHertz.

30 5. Gyrolaser selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier élément optique (8) et le second élément optique de séparation (9) de polarisation sont des lames biréfringentes uniaxes à faces planes et parallèles, l'axe optique étant incliné de 45 degrés environ par rapport au plan des faces.

35

CONFIDENTIEL DEFENSE

6. Gyrolaser selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif d'asservissement (3) comprend au moins un cinquième ensemble optique constitué d'un troisième rotateur optique à effet non réciproque (51) et d'un second élément optique, ledit élément
5 optique étant soit un rotateur optique à effet réciproque (41), soit un élément biréfringent, au moins l'un desdits effets ou la biréfringence étant réglable et ajusté indépendamment du premier ensemble optique; le premier mode de propagation et le troisième mode de propagation traversant le premier rotateur optique à effet non réciproque et le premier élément optique, le
10 troisième mode de propagation et le quatrième mode de propagation traversant le troisième rotateur optique à effet non réciproque et le second élément optique.

7. Gyrolaser selon l'une des revendications précédentes,
15 caractérisé en ce que la cavité (1) comporte un étalon optique de type Fabry-Perot.

8. Système de mesure de vitesses angulaires ou des positions angulaires relatives selon trois axes différents, caractérisé en ce qu'il
20 comporte trois gyrolasers selon l'une des revendications précédentes, orientés selon des directions différentes et montés sur une structure mécanique commune.

CONFIDENTIEL DEFENSE

CONFIDENTIAL
 DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

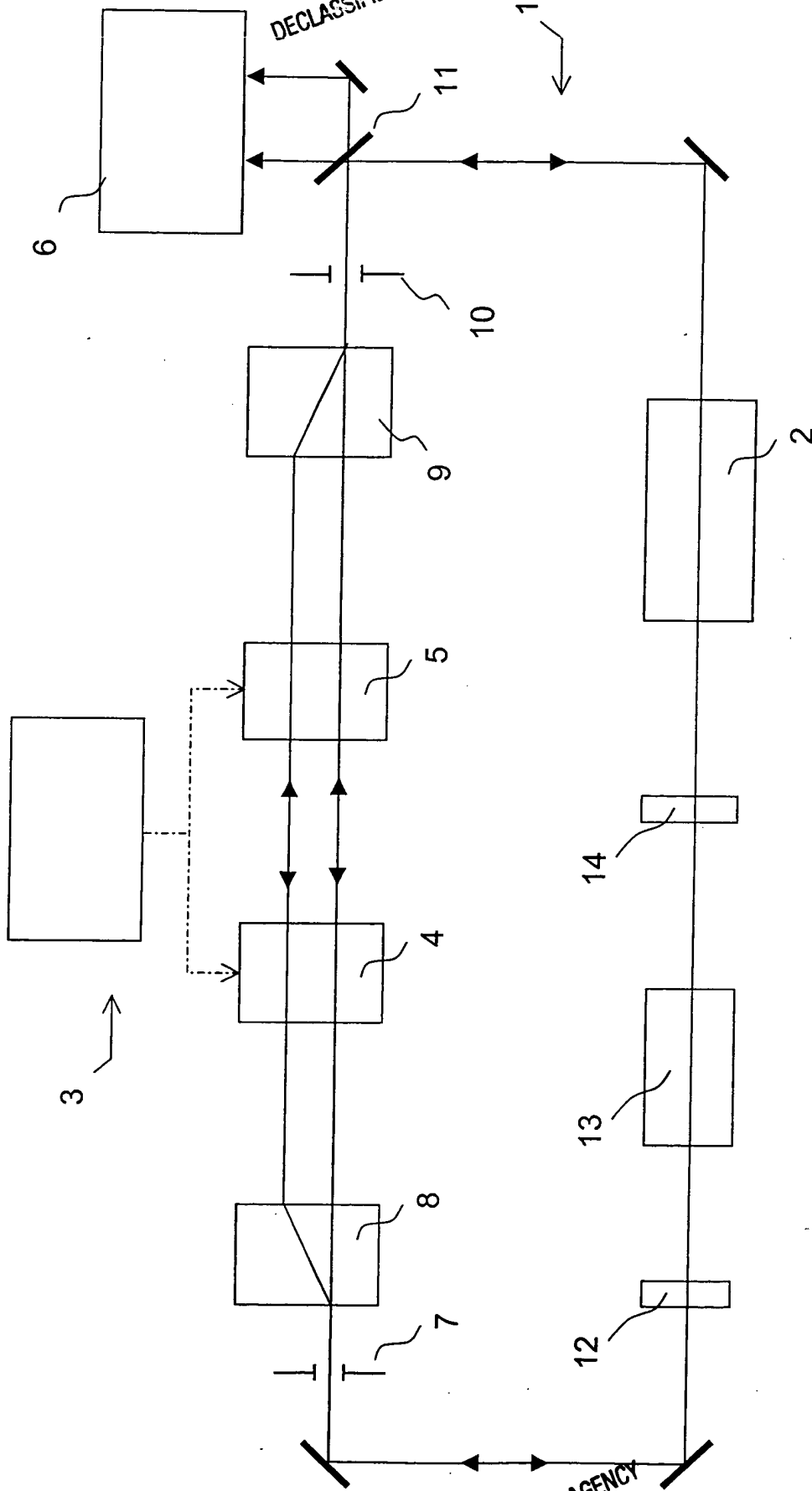


FIG.1

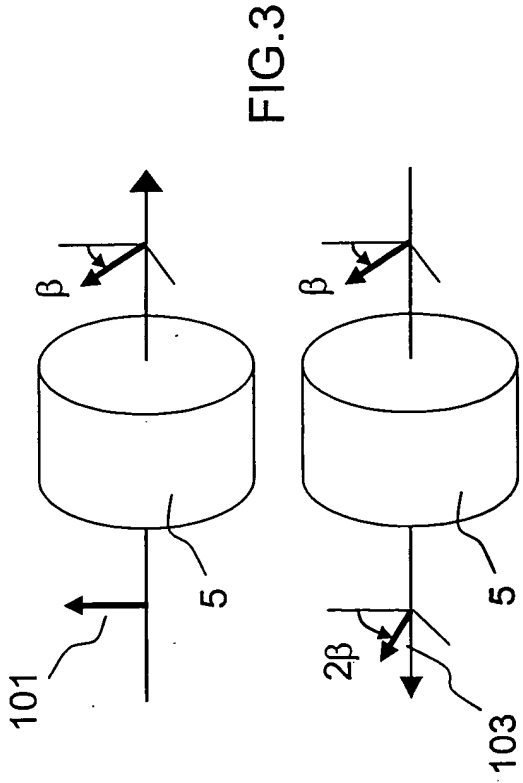


FIG. 2

FIG. 3

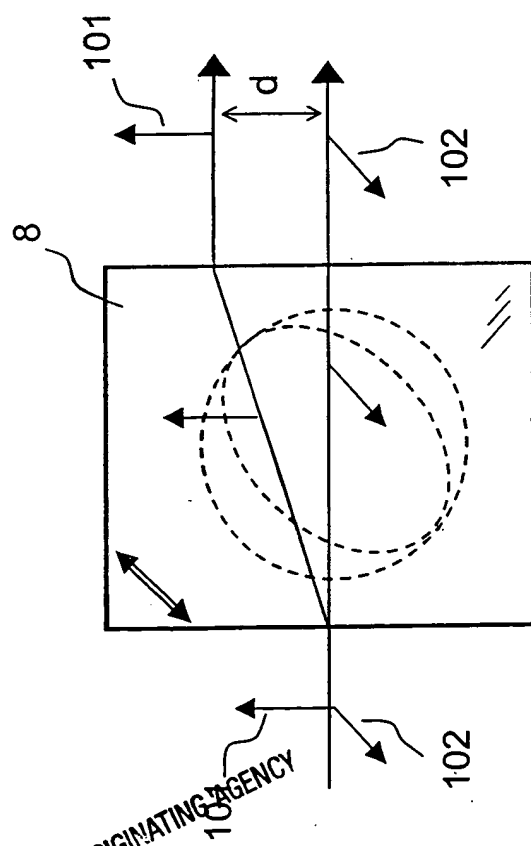


FIG. 4a

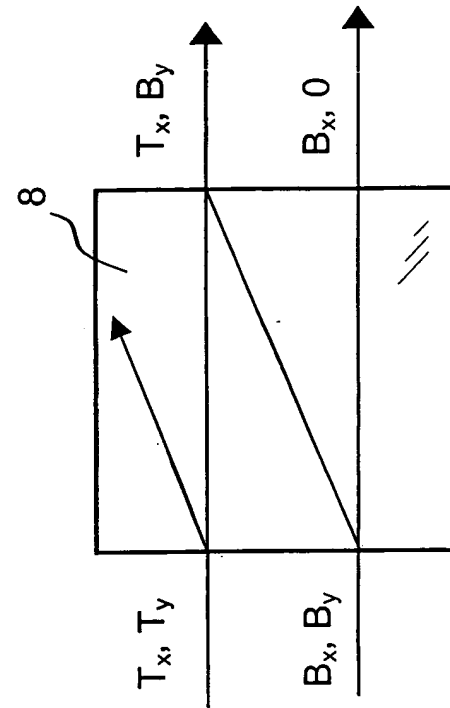


FIG. 4b

CONFIDENTIAL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

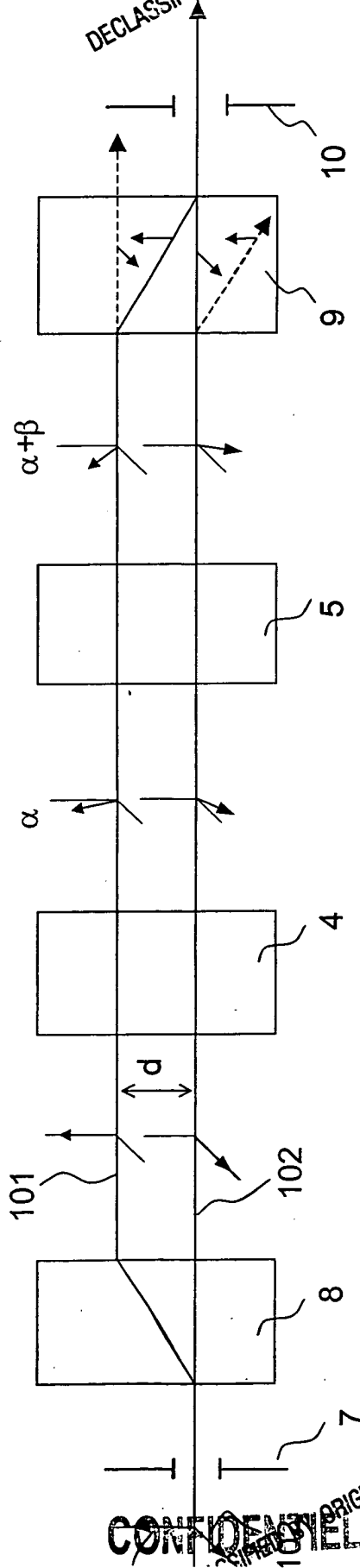


FIG.5

CONFIDENTIAL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

4/5
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY
CONFIDENTIAL DEFENSE

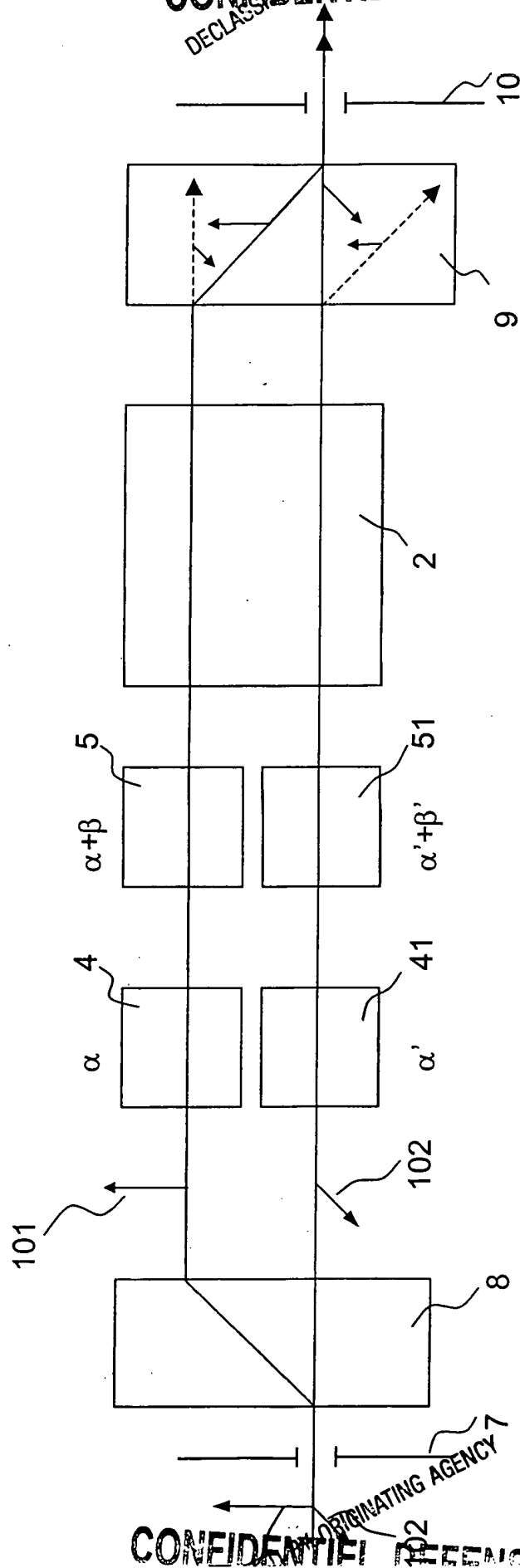


FIG. 6

CONFIDENTIAL
 DECLASSIFIED BY [redacted] ORIGINATING AGENCY
 DEFENSE

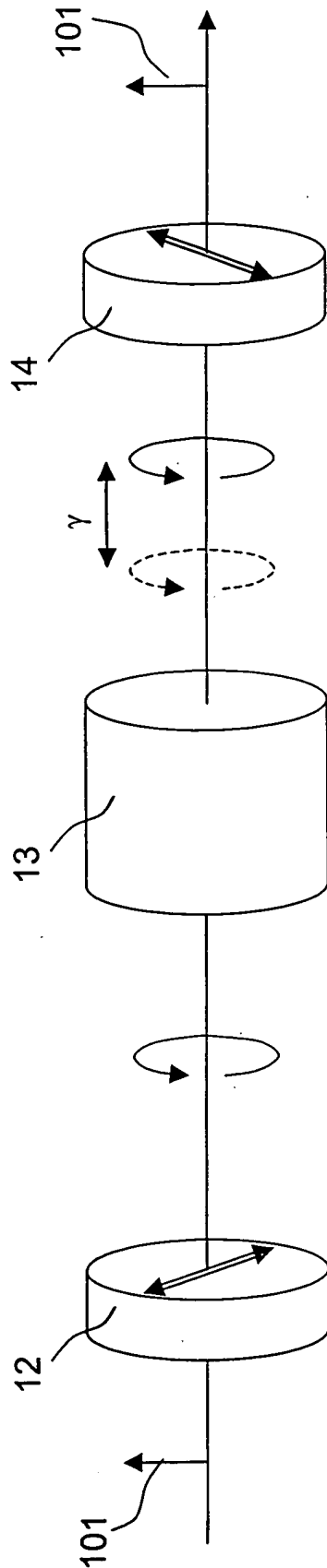


FIG - 7

CONFIDENTIAL
 DECLASSIFIED BY [redacted] ORIGINATING AGENCY
 DEFENSE

OBLON, SPIVAK, MCCLELLAND, MAIER & NEUSTADT, P.C.

ATTORNEYS AT LAW

1940 DUKE STREET

ALEXANDRIA, VIRGINIA 22314 U.S.A.

268252US-6C DF

THIS PAGE BLANK (USPTO)